

基于 Acolite 模型的 Landsat8 卫星影像大气校正

孔誉霏¹, 刘珊珊¹, 王丽娜², 诸葛瑞龙¹, 吕春光¹

(1. 临沂大学 资源环境学院, 山东 临沂; 2. 山东建筑大学 测绘地理信息学院, 山东 济南)

摘要: 大气校正就是将卫星传感器观测值转换为真实地表反射率的重要手段, 也是构建各类卫星遥感产品的前提基础。本研究以临沂市及周边区域为研究区, 应用 Acolite 模型对 Landsat8 卫星遥感影像开展植被、水体和人造地表等多种地物目标的大气校正, 并对校正结果进行分析及精度评价。通过其与 FLAASH 模型及 Landsat8 Collection2 表面反射率数据集进行综合对比, 可以发现, Acolite 及 FLAASH 都能够在不同程度去除大气影响。相比而言, Acolite 模型大气校正效果优于 FLAASH 模型, 其地表双向反射率光谱曲线与 Landsat8 Collection2 表面反射率数据变化趋势基本一致。总体来看, Acolite 模型对各类地物目标的大气校正整体精度较高, 且应用该模型的方案具有操作简便, 人工干预少等优点, 可为各类地表遥感反演产品的构建提供技术支持。

关键词: Landsat8; OLI; 大气校正; Acolite; 地表双向反射率

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 2096-4390(2024)02-0036-08

引言

卫星遥感在时间分辨率、空间覆盖范围以及信息量等方面具有的优势, 使其在资源、环境和气候变化等方面的监测和分析需求日益增加, 已成为环境监测领域的重要技术手段^[1]。然而, 在卫星遥感成像过程中, 由于大气散射和吸收的影响, 会改变传感器接收到的地表反射辐射能量, 极大地影响着遥感信息的提取和参数反演的精度^[2-3]。因此, 围绕遥感数据的定标、大气辐射校正以及地表物理量反演等方面的研究备受关注。特别是, 如何有效地消除大气影响的干扰, 实现卫星影像大气校正, 已成为定量遥感不可回避的问题^[4]。

Acolite 是一种在水色遥感领域应用广泛的大气校正模型^[5], 可提供两种大气校正方案, 一种是默认的“暗光谱拟合”算法, 另一种则是“指数外推”算法^[6]。同时, Acolite 的使用手册中指出, Acolite 在更清澈的水域和陆地上也能取得相当大的成功。该模型所提供输入参数设定并不局限于水体类型, 同样具备对其它地物进行表面反射率估算的潜力。然而, 与该模型在水色遥感领域的应用相比, 目前针对它在陆表方面的研究还比较局限。因此, 围绕 Acolite 模型, 开展陆地表面各地物类型地表反射率估算精度的研究具有重要的

实际价值。

基于此, 本文尝试以临沂市为研究区, 分别利用 Acolite 模型和 FLAASH 模型对典型时间的 Landsat8 OLI 卫星影像进行大气校正。通过与 FLAASH 模型和 Landsat8 Collection2 表面反射率数据的比较, 对采用 Acolite 模型的大气校正结果, 从随机点光谱取样、地物类型光谱对比、相对偏差时间变化等方面进行精度评价, 以期得到适用于临沂市及周围地区相关地物的大气校正最优方案。

1 研究区及数据源

1.1 研究区概况

临沂因临沂河得名, 地处中国华东地区、山东东南部、黄海西岸、长三角经济圈与环渤海经济圈结合点、东陇海国家级重点开发区域和鲁南临港产业带。临沂属温带季风气候, 自北有沂蒙等山脉延伸控制着沂沭河上游流向, 向南冲积出广袤的临邳苍平原。经纬度范围为北纬 34°22'~36°13', 东经 117°24'~119°11' 之间, 总面积 17 191.2 km², 南北最大长距 228 km, 东西最大宽度 161 km。详见图 1。

1.2 遥感影像数据

Landsat8 OLI 传感器包括 9 个波段, 空间分辨率为 30 m。此次研究选取 2020 年至 2022 年期间, 覆盖

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(202210452007)。

作者简介: 孔誉霏(2001-), 女, 本科在读, 主要从事遥感技术应用方面的研究。

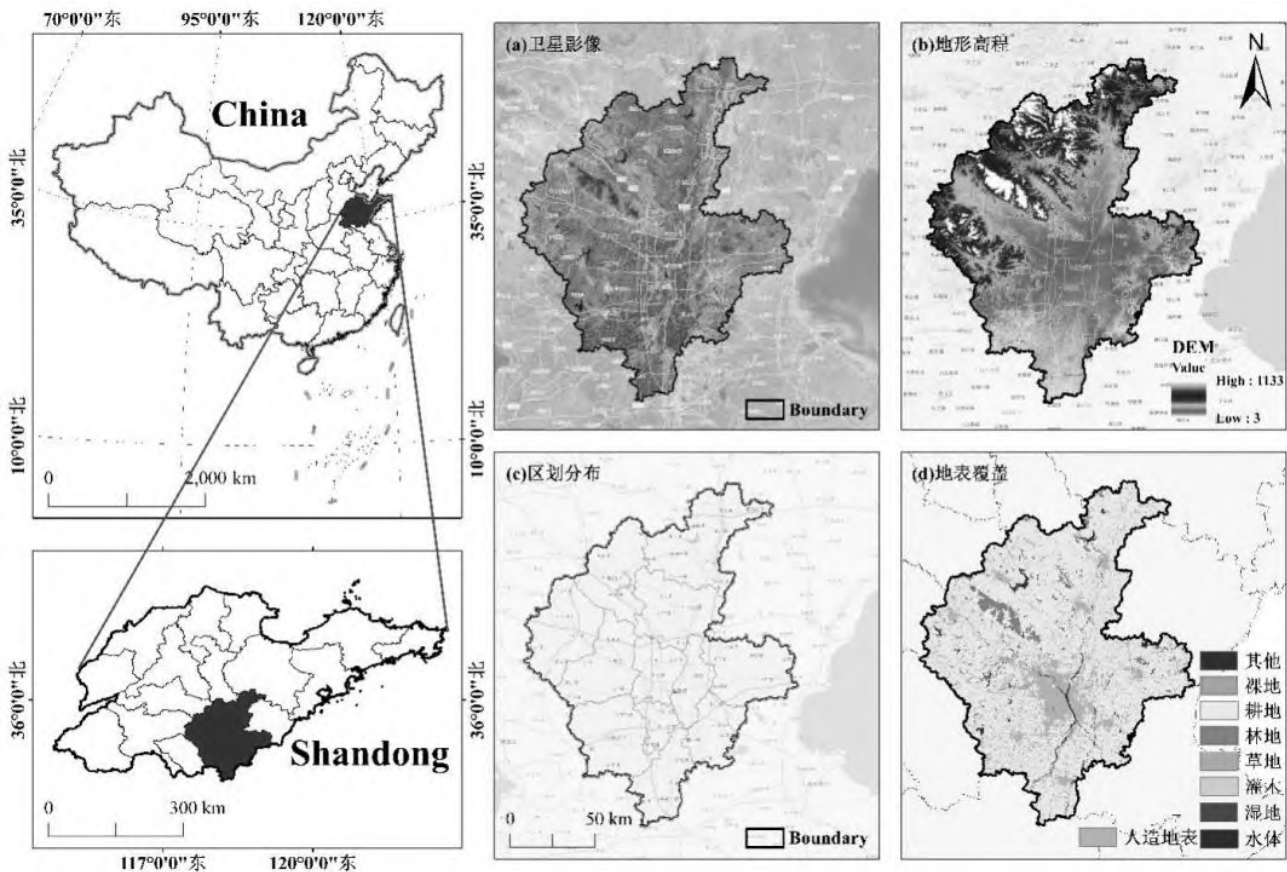


图 1 研究区区位

临沂市及周边地区,云量较少的 Landsat8 OLI 遥感影像。通过筛选共得到 6 景影像,其成像日期分别为 2020 年 4 月 15 日、2020 年 10 月 24 日、2021 年 1 月 12 日、2021 年 10 月 24 日、2022 年 4 月 21 日和 2022 年 11 月 15 日。关于 Landsat8 OLI 影像的波段设置情况如表 1 所示。

1.3 土地利用数据

本研究使用的土地利用数据来源于 2020 年的 30

m 全球地表覆盖数据(GlobeLand30),由于临沂市的区域位置位于两幅地表覆盖数据之中,需在 ArcGIS 中对下载得到的土地利用数据进行镶嵌处理、将土地利用数据裁剪为研究区边界所定义的范围,最终得到覆盖研究区的土地利用数据。研究区包含耕地、林地、草地、湿地、水体、人造地表、裸地、海域八类地物。研究区地物类型如表 2 所示^[7]。

1.4 表面反射率数据

本研究使用的 Landsat8 Collection2 表面反射率,基于陆地表面反射率代码(LaSRC)生成,来源于 PIE-Engine 云计算平台数据资源。为了得到反映各类地物整体平均值的地表双向反射率数据,需对覆盖研究区的土地利用数据设置波段定标系数,对于 Landsat8 Collection2 表面反射率数据,可以使用 USGS 官网提供的定标系数进行定标。

表 1 OLI 波段介绍

波段	名称	波长范围 (μm)	空间分辨率 (m)	主要应用
Band 1	海岸波段	0.433~0.453	30	海岸带观测
Band 2	蓝波段	0.450~0.515	30	分辨土壤植被
Band 3	绿波段	0.525~0.600	30	用于分辨植被
Band 4	红波段	0.630~0.680	30	用于植被种类
Band 5	近红外波段	0.845~0.885	30	分辨潮湿土壤
Band 6	短波红外 1	1.560~1.660	30	用于分辨道路
Band 7	短波红外 2	2.100~2.300	30	用于分辨岩石, 矿物
Band 8	全色波段	0.500~0.680	15	用于增强分辨率

表 2 研究区地物类型

类型	内容	代码
耕地	用于种植农作物的土地	10
林地	乔木覆盖且树冠盖度超过 30%的土地	20
草地	天然草本植被覆盖,且覆盖度大于 10%的土地	30
湿地	位于陆地和水域交界带	50
水体	陆地范围液态水覆盖的区域	60
人造地表	由人工建造活动形成的地表	80
裸地	植被覆盖度低于 10%的自然覆盖土地	90
海域	海洋的一定范围	255

2 研究方法

2.1 数据预处理

在进行大气校正前,需要先对原始影像进行辐射定标预处理。辐射定标就是将遥感影像的 DN 值化为辐射亮度值或表面温度等物理量的处理过程^[8]。Acolite 的预处理较为自动化,用户只需在 GUI 界面选择参数,即可实现对原始数据的预处理。FLAASH 模型则可使用 ENVI 5.6 软件工具箱中的辐射定标工具对 Landsat8 数据进行辐射定标预处理^[9]。

2.2 大气校正流程

在 Acolite 模型界面输入待处理的 Landsat8 原始影像,利用“暗光谱拟合”算法和“指数外推”算法得到校正后的 NetCDF 数据集。在 ENVI 5.6 中加载 NetCDF 数据集,通过 GLT 变换创建数据的地理投影,在 ArcGIS 中使用以表格显示分区统计工具,得到 Acolite 大气校正后每个波段各类地物整体平均值的地表双向反射率。FLAASH 是光学成像所-波谱科学研究所开发的大气校正模块^[10-11],该项技术适用于对波长在 0.4~3 微米之间的影像进行大气校正^[12-13]。通过式(1)计算出每个像元的地表反射率^[14]。

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho}{1-\rho_e S} \right) + L_a \quad (1)$$

式中:所有参量均以单个像元计算,L 表示卫星传感器接收到的总辐射;A 和 B 是计算系数, ρ 为表面反射率; ρ_e 为空间平均反射率; L_a 是大气程辐射;S 是入射光数量和反射光数量的比值^[15]。

2.3 统计分析

分别对 Acolite 和 FLAASH 大气校正后的数据从随机点光谱取样、地物类型光谱对比、相对偏差时间变化 3 个方面进行精度验证。对 Acolite 大气校正后的

六副影像分别进行随机采样,初步检验 Acolite 模型在不同波长范围下四类地物的校正精度。采样点类型通过目视解译分为水体、耕地、城镇、林地四类地物。采样点位置信息如表 3 所示,采样点位置如图 2 所示。

将 Acolite 和 FLAASH 大气校正后每个波段各类地物整体平均值的反射率结果与公开的 Landsat8 Collection2 表面反射率数据进行对比验证。得到 Acolite、FLAASH 与标准值这三者的各类地物类型光谱曲线,本次实验选取的是 2020 年 4 月 15 日的 Landsat8 数据。

表 3 采样点位置信息

类型	经度	纬度
水体	118°43'18.88"E	34°23'59.11"N
耕地	119°1'23.33"E	34°32'10.81"N
城镇	118°16'51.19"E	35°1'45.26"N
林地	117°35'53.26"E	35°23'0.53"N

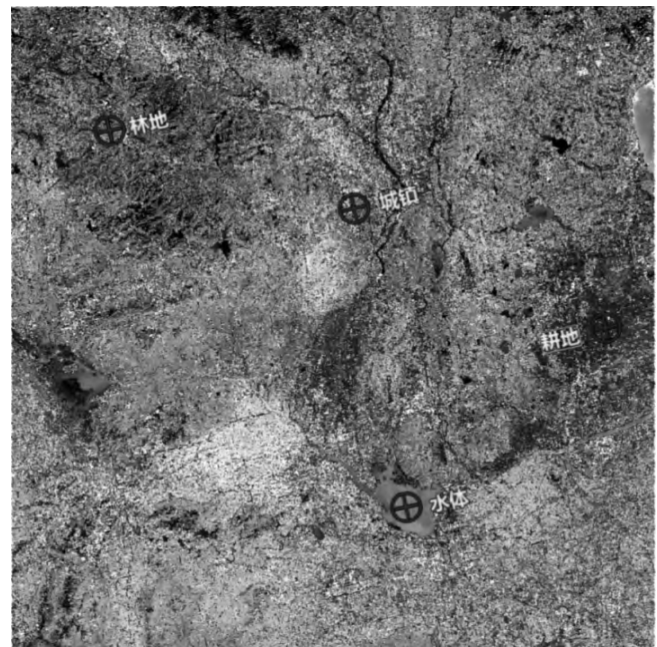


图 2 采样点位置

为了进一步研究 Acolite 大气校正方法在不同时段下各个波段的稳定情况,本实验选取了六幅 Landsat8 影像,共 7 个波段,将 Landsat8 Collection2 表面反射率数据作为标准值,利用相对误差(Acolite 校正值与实测值的拟合程度),评价 Acolite 大气校正后各个波段的校正结果。本文使用的相对误差(Relative Error)计算公式如下。

$$RE = \frac{(R_{rs}^i - R_{rs}^j)}{R_{rs}^j} \times 100 \quad (2)$$

式中: R_{rs}^i 为第*i*波段大气校正后的遥感反射率、 R_{rs}^j 为第*j*波段实测数据遥感反射率,得到 Acolite 各波段大气校正结果与实测遥感反射率之间的相对误差。

3 结果和分析

3.1 随机取样光谱曲线比对

图 3 为随机取样得到的四种典型地物经 Acolite 大气校正后的地物光谱曲线图。从整体来看,不同时间下 Acolite 大气校正得到的地物光谱曲线形态基本一致,观察图 3 可以发现 2021 年 1 月 12 日耕地的光谱曲线呈现出平坦的特点,考虑是当时处于冬季,没有植被覆盖导致地表双向反射率变化不大。

3.2 地物类型光谱曲线特征

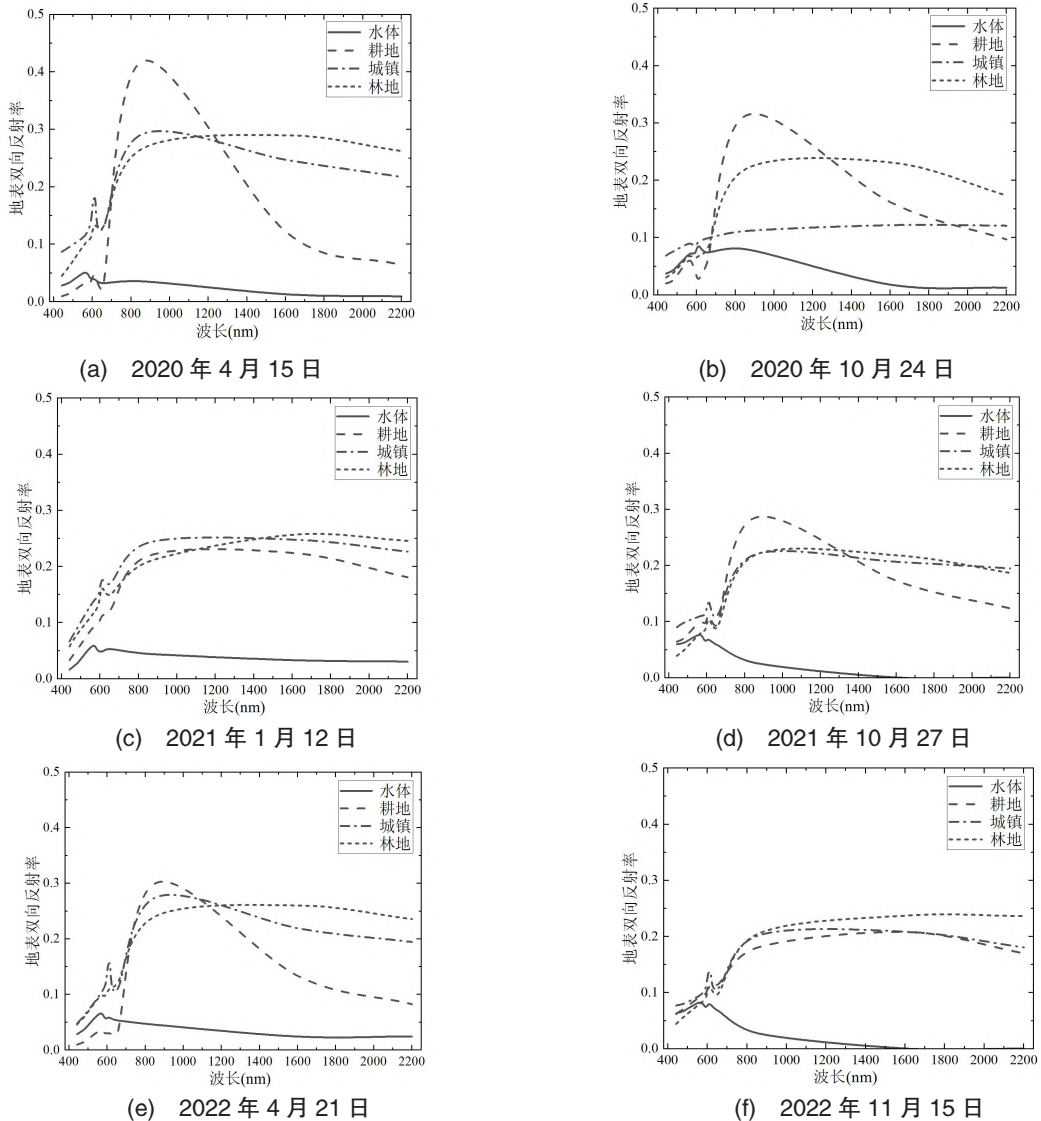
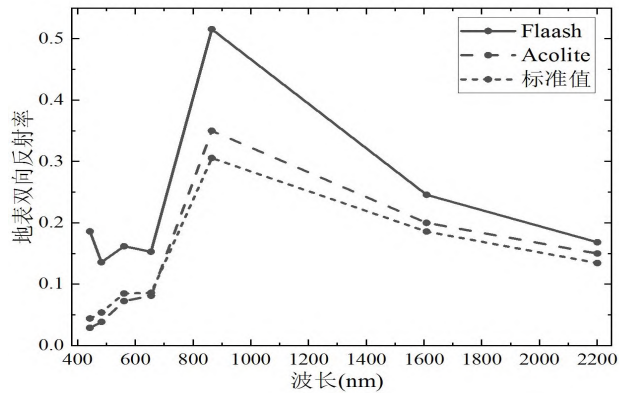
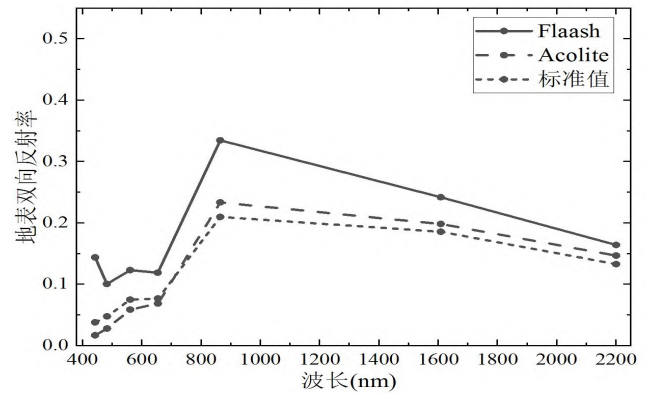


图 3 Acolite 大气校正随机取样地物光谱曲线

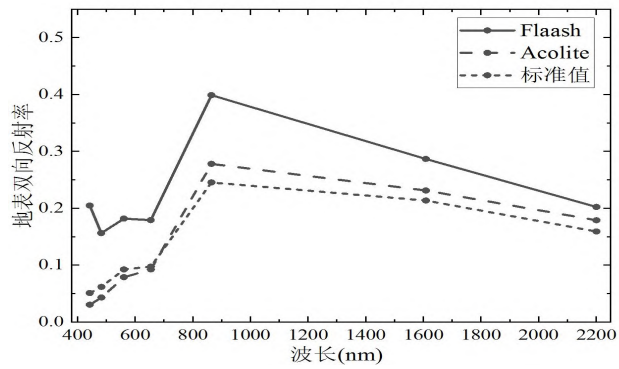
图 4 为 8 种典型地物经两种大气校正方法校正后反射率与实际 Landsat8 Collection2 表面反射率对比图。从整体来讲,Acolite 方法大气校正结果与实际数据相比整体光谱曲线趋势相对一致,FLAASH 方法大气校正结果相对实际数据整体偏高。Acolite 的校正精度明显比 FLAASH 理想,大气校正后 Landsat8 图像的地表反射率与实际数据之间一致性较好。观察图 4 (d)、图 4(e)、图 4(h)可以直观发现,FLAASH 方法在湿地、水体、海域三种地物的蓝光波段都有抬高的现象,而在不可见光波段的光谱曲线变化趋势与实际数据比较一致。经过研究发现,这是由于 FLAASH 方法主要是针对陆地的基于辐射传输的大气校正方法,校正方法采用的能见度和气溶胶模型等参数值需要人为设定,对水体这类地物在蓝波段的反射率过分高估,



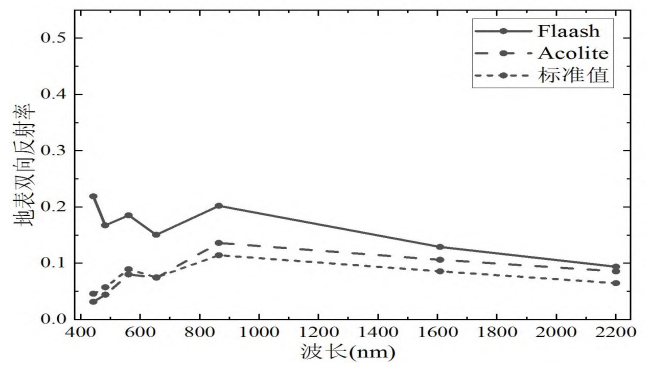
(a) 耕地



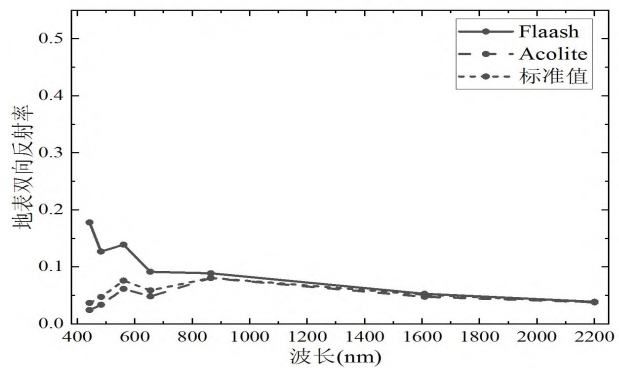
(b) 林地



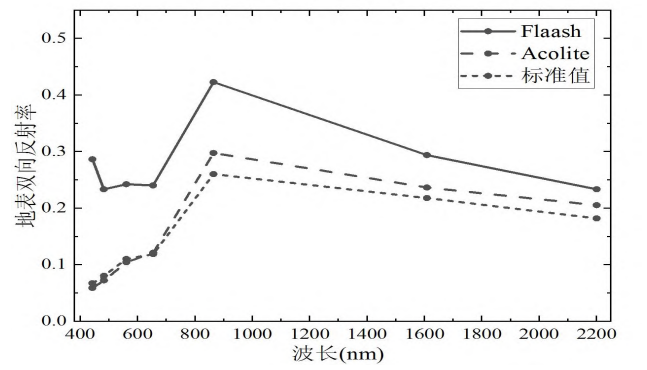
(c) 草地



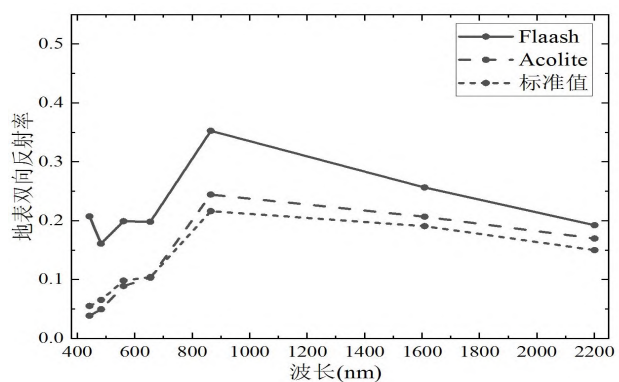
(d) 湿地



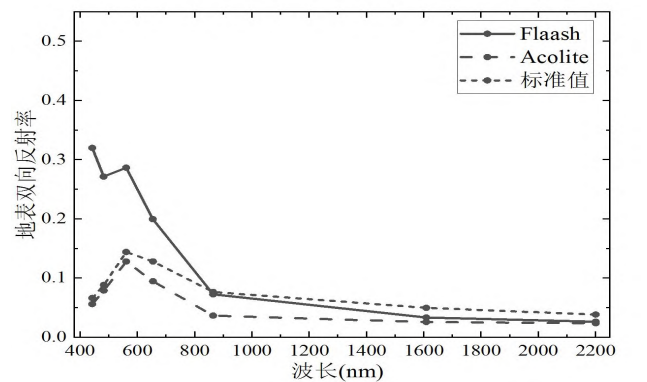
(e) 水体



(f) 人造地表

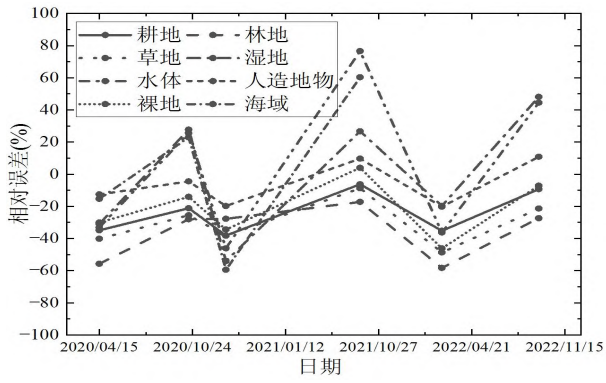


(g) 裸地

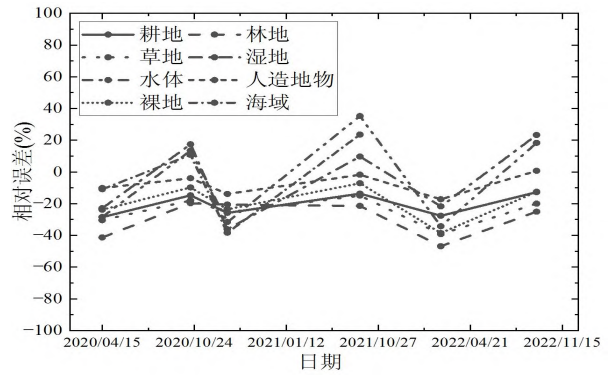


(h) 海域

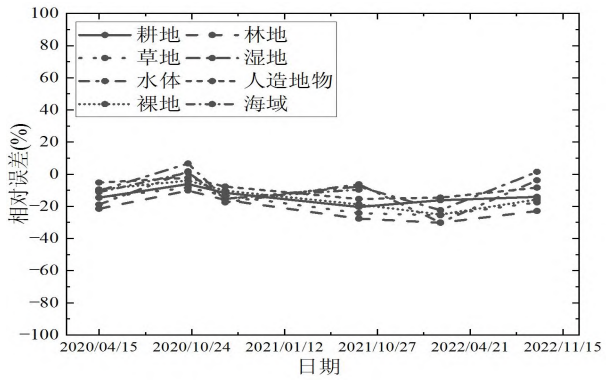
图4 各类地物光谱曲线对比



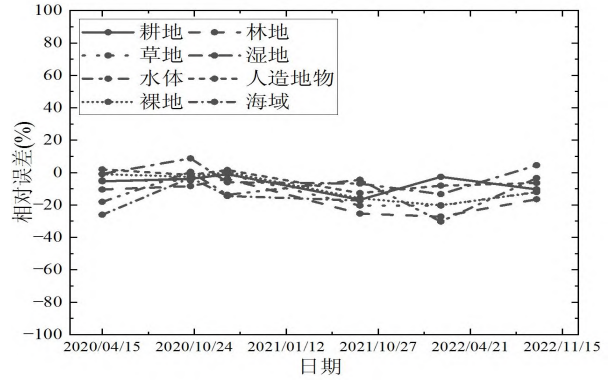
(a) 443 nm 波段



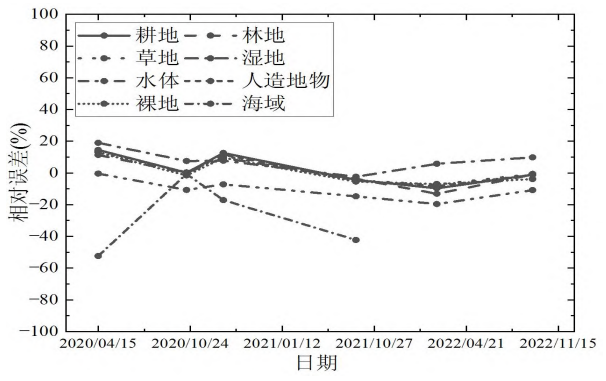
(b) 483 nm 波段



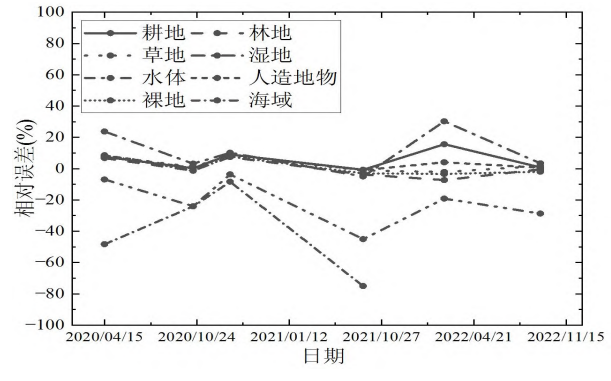
(c) 561 nm 波段



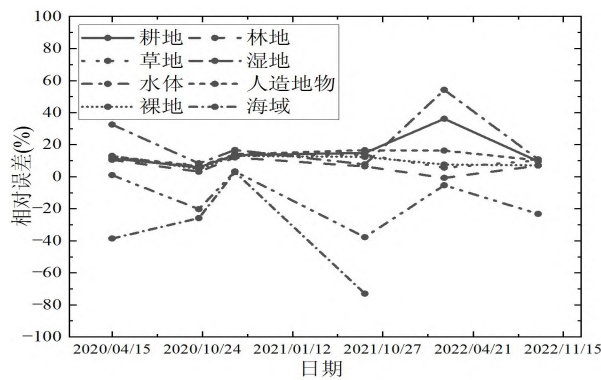
(d) 655 nm 波段



(e) 865 nm 波段



(f) 1 609 nm 波段



(g) 2 201 nm 波段

图5 Acolite 大气校正各波段相对误差

因此校正效果不太理想^[6]。通过对比水体和海域两张图可以发现,虽然水体和海域两种地物光谱曲线形态上比较一致,均符合水体这类地物的光谱曲线特征,但海水的地表反射率明显高于水体。这是由于海水通常具有更高的反射率,而离岸水体或远离海岸的水体反射率低。从图 4(a)、图 4(b)、图 4(c)、图 4(d)、图 4(g)可以发现,耕地、林地、草地、湿地、裸地这五种地物在整体波谱形态上均比较一致,在近红外波段出现一个反射陡坡大概在 865 nm 处,基本符合植被的光谱曲线特征。中红外波段受植物含水量影响,吸收率大增,反射率大大下降。但由于土壤的含水量不同,植被覆盖率不同等原因,导致五类地物的地表反射率高低存在差异。由图 4(f)可以发现,人造地表整体反射率相较于其他地物偏高仅次于耕地。

3.3 误差随时间变化特征

如图 5 所示,Acolite 大气校正相对误差随时间的变化趋势。对比单波段的校正精度,Acolite 在 561 nm 波段和 655 nm 波段表现最好,整体相对误差分别为-12.82%和-8.49%。从地物类型的角度看,各类地物的校正精度都较好,相对误差都在 22%以下。其次是在 865 nm 波段、1 609 nm 波段和 2 201 nm 波段,除海域的校正效果较差外其他地物的相对误差较稳定。Acolite 在 443 nm 波段和 483 nm 波段的整体校正效果最差,尤其是水体和海域这两类地物的相对误差波动程度较大,其他地物的相对误差稳定性一般。从时间变化的角度看,水体和海域这两类地物相对误差随时间变化较明显,其他地物相对误差的波动性比较稳定,结合选取的六幅影像的时间分析,考虑是温度影响传感器的精度,此问题有待进一步研究。

4 结论

Landsat8 数据是目前遥感领域普遍应用的基础数据,对 Landsat8 数据进行大气校正是我们得到精确的地表反射率数据的关键因素。本文基于 Acolite 模型对 Landsat8 数据进行大气校正,并以 FLAASH 大气校正结果和公开的 Landsat8 Collection2 表面反射率数据为参考,对校正结果进行了对比验证。结果表明:

(1) Acolite 模型整体的大气校正效果较好,效果明显优于 FLAASH 模型,且其地表双向反射率光谱曲线与 Landsat8 Collection2 表面反射率数据变化趋

势基本一致,误差随时间变化相对稳定,为今后研究各类地物的单波段反演运算提供了理论依据。FLAASH 模型大气校正结果整体偏高,校正效果不理想。

(2) Acolite 模型操作方法相对简便,校正过程更为自动化,不需要过多的人为干涉设定参数就能够得到比较理想的校正结果。而 FLAASH 模型在水体、湿地、海域这类地物的蓝光波段,其地表双向反射率光谱曲线出现抬高现象,与 Landsat8 Collection2 表面反射率数据变化趋势不太吻合。可能是由于 FLAASH 大气校正设置参数时,能见度和气溶胶类型等参数值不容易确定,存在较大的偏差,导致大气校正结果不理想。在后续的研究中,还需要着重分析大气校正参数对其结果的影响。

参考文献

- [1]赵春江,宋晓宇,王纪华,等.基于 6S 模型的遥感影像逐像元大气纠正算法[J].光学技术,2007(1):11-15.
- [2]苏伟,张明政,蒋坤萍,等.Sentinel-2 卫星影像的大气校正方法[J].光学学报,2018,38(1):322-331.
- [3]韩杰,刘小玉,李慧娜,等.基于 6S 和 FLAASH 的 Landsat8 卫星影像大气校正精度对比研究[J].许昌学院学报,2019,38(5):49-53.
- [4]姚薇,李志军,姚琪,等.Landsat 卫星遥感影像的大气校正方法研究[J].大气科学学报,2011,34(2):251-256.
- [5]李海翠,况润元,宋子豪.基于 Sentinel-2 影像的鄱阳湖大气校正方法适用性评价[J].航天返回与遥感,2021,42(4):108-119.
- [6]刘晓燕,申辰,崔文玺,等.胶州湾海域 Landsat8/OLI 数据处理中多种大气校正方法的评价[J].光谱学与光谱分析,2022,42(8):2513-2521.
- [7]段艳慧,赵学胜,彭舒.基于信息熵的 GlobeLand30 和 WorldCover 耕地破碎区一致性分析[J].地球信息科学学报,2023,25(5):1027-1036.
- [8]李芹.基于 MCR 模型的赣南稀土矿区景观生态安全格局研究[D].赣州:江西理工大学,2019.
- [9]申振宇,高小红,汤敏.高海拔复杂地形区 SPOT6 图像大气校正方法对比及精度验证 [J]. 国土资源遥感,2020,32(1):81-89.
- [10]曾群,赵越,田礼乔,等.HJ-1A/1B 卫星 CCD 影像水

环境遥感大气校正方法评价研究——以鄱阳湖为例[J].光谱学与光谱分析,2013,33(5):1320-1326.

[11]CAI L,BU J,TANG D, et al. Geosynchronous satellite GF-4 observations of chlorophyll-a distribution details in the Bohai Sea, China[J]. Sensors,2020, 20(5471): 1-17.

[12]Bernardo N, Watanabe F, Rodrigues T, et al. Atmospheric Correction Issues for Retrieving Total Suspended Matter Concentrations in Inland Waters Using OLI/Landsat.8 image [J]. Advances in Space Research, 2017, 59(9): 2335-2348.

[13]李海翠.鄱阳湖大气校正方法适用性评价研究[D].赣州:江西理工大学,2022.

[14]刘梓钦,赵世湖,裴亮,等.GF-5 卫星高光谱数据大气校正反射率精度评价[J].遥感信息,2021,36(3):93-98.

[15]杨杭,张霞,帅通,等.OMIS-II 图像大气校正之 FLAASH 法与经验线性法的比较[J].测绘通报,2010(8): 4-6,10.

[16]丁凡.太湖 OLI 影像大气校正方法对比与适用性评价[D].西安:西安科技大学,2018.

Atmospheric Correction of Landsat 8 Satellite Images Based on the Acolite Model

Kong Yufei¹, Liu Shanshan¹, Wang Lina², Zhuge Ruilong¹, Lv Chunguang¹

(1.College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi, China;

2.School of Surveying and Geo-Informatics, Shandong Jianzhu University, Jinan, China)

Abstract: Atmospheric correction is an important method to convert satellite sensor observations into true surface reflectance, and it is also a prerequisite for the construction of various satellite remote sensing products. In this study, Linyi City was selected as the research area, and the Acolite model was applied to perform atmospheric correction on Landsat 8 satellite images of various land targets such as vegetation, water bodies, and man-made surfaces. The correction results were analyzed and evaluated for accuracy. Through comprehensive comparison with the FLAASH model and Landsat 8 Collection2 surface reflectance dataset, it can be found that both Acolite and FLAASH can remove atmospheric effects to a certain extent. However, the atmospheric correction effect of the Acolite model is better than that of the FLAASH model, and its spectral curve of surface bidirectional reflectance is basically consistent with the trend of Landsat 8 Collection2 surface reflectance data. Overall, the Acolite model has high overall accuracy in atmospheric correction of various land targets, and the scheme using this model has advantages such as easy operation and minimal manual intervention, which can provide technical support for the construction of various surface remote sensing retrieval products.

Key words: Landsat8; OLI; atmospheric correction; Acolite; surface bidirectional reflectance